



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001110784 A**

(43) Date of publication of application: 20.04.01

(51) Int. Cl. **H01L 21/3065**  
**C23F 4/00**  
**H01L 21/768**  
**H05H 1/46**

(21) Application number: 11289148

(22) Date of filing: 12.10.99

(71) Applicant: **HITACHI LTD**

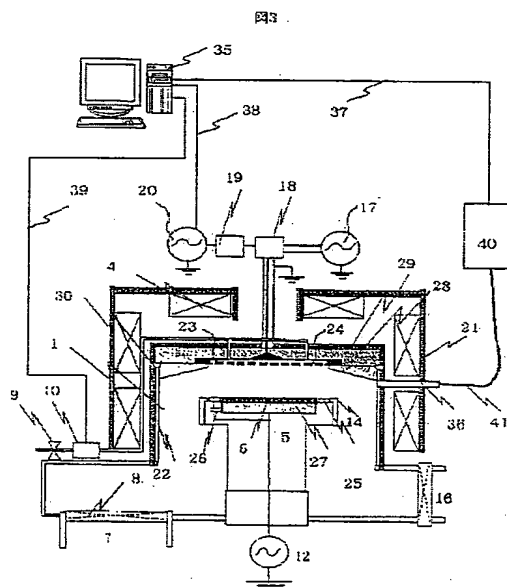
(72) Inventor: **IZAWA MASARU**  
**YOKOGAWA KATANOBU**  
**NEGISHI NOBUYUKI**  
**MOMOI YOSHINORI**  
**TAJI SHINICHI**

**(54) APPARATUS AND METHOD FOR PLASMA TREATMENT****(57) Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an etching method for obtaining a fine machined shape, especially a vertical shape having less bowing when machining an insulating film in semiconductor manufacturing.

**SOLUTION:** Amount of O, F or N radical incident quantity that becomes excessive at the initial stage of etching is controlled with a gas flow rate or the consumption quantity of O, F and N in an inner wall face is controlled with etching time to suppress excessive O, F and N. The flow rate or consumption quantity is controlled, based on a plasma measurement result in etching and a stably etched shape is obtained. Etching rate and selectivity are maintained, and bowing can be reduced in the work of a hole and an organic film in an insulating film. Thus, a semiconductor device can be manufactured more finely.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO



(11)特許出願公開番号

特開2001-110784

(P2001-110784A)

(43)公開日 平成13年4月20日(2001.4.20)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

FI

テーマコード\* (参考)

H O I L 21/3065

C 2 3 F 4/00

E 4K057

C 2 3 F 4/00

H O 5 H 1/46

**Z 5 F 0 0 4**

H O 1 L 21/768

A

H O 5 H 1/46

H O 1 L 21/302

B

審査請求 未請求 請求項の数19 OL (全 11 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号

特願平11-289148

(22) 出願日

平成11年10月12日(1999. 10. 12)

(71) 出題人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)發明者 伊澤 勝

東京都国分寺市東荻ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 横川 賢悦

東京都国分寺市東窓ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

**最終頁に続く**

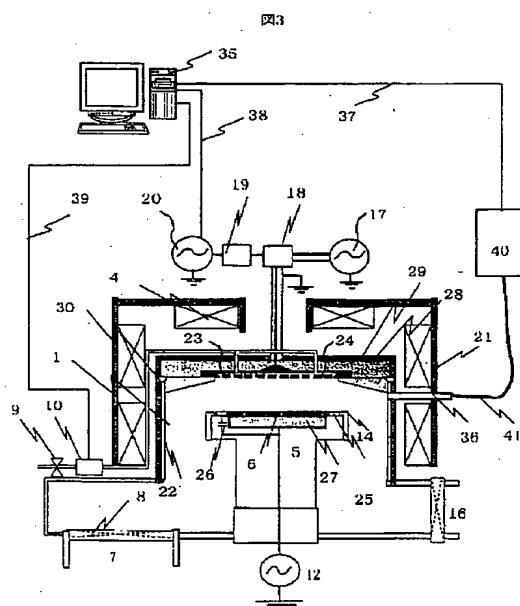
(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置および処理方法

(57) 【要約】

【課題】 半導体製造における絶縁膜加工において、微細加工形状、特にボーイングの少ない垂直加工形状が得られるエッチング方法を提供する。

【解決手段】 エッチング初期に過剰になるO、FもしくはNラジカル入射量をガス流量もしくはO、FおよびNを内壁面での消費量をエッチング時間とともに制御し、過剰なO、FおよびNを抑制する。さらに、安定したエッチング形状が得られるようにエッチング中のプラズマ計測結果を基に、上記流量もしくは消費量を制御する。

【効果】 エッチング速度および選択性を維持して、絶縁膜のホールおよび有機膜の加工においてポーイングが低減できるため、より微細な半導体デバイス製造が容易になる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】真空排気手段により真空状態に保持される処理室において、前記処理室に設けられたガス導入手段によりガスを前記処理室に導入し、前記導入ガスを前記処理室内でプラズマ化する手段によって前記導入ガスをプラズマ化し、前記プラズマに被処理物に接触もしくは非接触の状態になるように前記被処理物を前記処理室内に設置することにより、前記被処理物を処理するプラズマ処理装置において、処理時間とともにプラズマ中のラジカル量を変化させることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項2】請求項1において電極もしくは前記高周波を導入するために設置されたアンテナを有し、前記電極もしくは前記アンテナに第2の高周波を印加する手段を有し、第2の高周波パワーを処理時間とともに変化させることによりプラズマ中のラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項3】請求項1においてガス流量を処理時間とともに変化させることによりプラズマ中のラジカル量を変化させることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項4】請求項1、2もしくは3において、被処理物の状態もしくはプラズマ中のラジカルを計測する手段を有し、前記計測する手段と同期してラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項5】請求項1、2、3および4において、変化させるラジカルがOもしくは、FもしくはNであることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項6】請求項1から5において、被処理物上に形成された絶縁膜をエッチングすることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項7】請求項6において、被処理物上に形成された絶縁膜が酸化膜で、プラズマの計測手段が発光計測器で、 $\text{SiF}/\text{CF}_2$ の発光強度比を計測することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項8】請求項6において、被処理物上に形成された絶縁膜が有機膜で、プラズマの計測手段が発光計測器で、CNの発光強度を測定することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項9】請求項1から8において、第2の高周波を印加する電極もしくはアンテナがSiもしくはCを含むことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項10】請求項1から9において、プラズマを生成する高周波の周波数が300MHzから900MHzで、前記高周波を真空処理室内に設けられた平板アンテナを用いて導入し、真空処理室周辺に設けられたソレノイドコイルで磁場を印加し、電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成し、平板アンテナと被処理物表面の距離が20mmから150mmであることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項11】プラズマ処理室に高周波を導入しプラズ

マを生成して被処理物をプラズマ処理するプラズマ処理方法において、処理時間とともにプラズマ中の解離ラジカル量を制御することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項12】請求項11において、電極もしくは前記高周波を導入するために設置されたアンテナに第2の高周波パワーを処理時間とともに変化させて印加することにより、プラズマ中のラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項13】請求項11においてガス流量を処理時間とともに変化させることによりプラズマ中のラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項14】請求項11、12もしくは13において、被処理物の状態もしくはプラズマ中のラジカルを計測する手段と同期してラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項15】請求項11、12、13および14において、変化させるラジカルがOもしくは、FもしくはNであることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項16】請求項11から15において、被処理物上に形成された絶縁膜をエッチングすることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項17】請求項16において、被処理物上に形成された絶縁膜が酸化膜で、プラズマ中の $\text{SiF}/\text{CF}_2$ の発光強度比に同期してラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項18】請求項16において、被処理物上に形成された絶縁膜が有機膜で、プラズマ中のCNの発光強度に同期してラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項19】請求項11から18において、第2の高周波を印加する電極もしくはアンテナがSiもしくはCを含む材料であることを特徴とするプラズマ処理方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体装置の微細加工に用いるドライエッチング装置及びドライエッチング方法に関し、特に絶縁膜の高精度ドライエッチング加工を実現するドライエッチング装置及びドライエッチング方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体装置において、ウェハ上に形成されたトランジスタとメタル配線間およびメタル配線間を電気的に接続するために、トランジスタ構造上および配線間に形成された絶縁膜( $\text{SiO}_2$ を主成分とする薄膜、以後、酸化膜と呼ぶ)に、ドライエッチング方法でコンタクトホールを形成し、コンタクトホール内に電気伝導体を充填する。ドライエッチングでは、エッチングガスを真空容器に導入し、このガスに高周波バイアスもしくは $\mu$ 波を印加しプラズマを発生させ、プラズマ中で生成した活性種およびイオンによって酸化膜を選択的に

エッチングし、コンタクトホールを形成する。このエッチングに際して、ホールパターンを転写したレジスト薄膜が酸化膜上に形成されている。このコンタクトホール加工では、レジスト膜、コンタクトホールの下部にある配線層、もしくは被エッチング膜とは別の絶縁膜、もしくはトランジスタを形成しているシリコンに対し選択的に酸化膜をエッチングする必要がある。

【0003】上記コンタクトホールの加工は、エッチング装置内に $CF_4$ 、 $CHF_3$ 、 $C_2F_4$ 、 $C_2F_6$ 、 $C_3F_8$ 等のフッロカーボンガスおよび $Ar$ ガスを導入し、0.5 Paから10 Paのガス圧力条件で高周波プラズマ放電して、ウェハに0.5から2.0 kVのVpp電圧が印加される条件でエッチングを行っている。配線層間の酸化膜が厚く、コンタクトホールのアスペクト比（深さ/直径）が高い場合には、ホール開口性を高めるため酸素ガスおよび $CO$ ガスの添加、 $CO$ ガスの添加ではさらにレジストおよび窒化膜に対する選択性を高める効果がある。

【0004】近年、半導体デバイスの高速化のため、配線材料として $Cu$ が用いられ、配線間の絶縁膜として、有機絶縁膜、有機酸化ケイ素膜等の検討が進められている。有機絶縁では、窒素を含むガスが用いられ、有機酸化ケイ素膜では、酸化膜とほぼ同じガスが用いられる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のエッチング装置で、アスペクト比の高いコンタクトホールの加工を行う場合、エッチングが停止し非開口になる問題を超えるため、過剰に酸素ガスや $CO$ ガスを添加する必要があった。 $CO$ が酸素ラジカルの供給源となるため、酸素ラジカルが過剰な条件でのエッチングになっていた。しかしながら、酸素ラジカルが過剰になるとホール上部では、側面に堆積膜が形成されず、マスク等で散乱されたイオンの入射により、ホール加工形状が広がってしまっていた。このホールの広がりは、ホール開口部（上部）より若干深い位置で発生する。詳細には、ホール開口部に比べホール径が広がり、ホール深さが深くなるに伴いホール径は小さくなる形状になる。すなわち、ホール中程でサイドエッチングが発生した加工形状になる。このようにホール径が広がる現象のことをボーイングという。

【0006】ボーイングが発生すると、ホール内に多結晶シリコンやタンガステン等の電気伝導体を充填する際に隙間ができ、半導体デバイスの不良の原因になる。このボーイングは、ホールのアスペクト比が高くなると顕在化するため、半導体デバイスの微細化の障害となってきた。特に酸化膜エッチングでは、アスペクト比6以上でボーイングが現れ、アスペクト比の増加とともにボーイングが大きくなる。半導体デバイスの微細化が進み、アスペクト比10以上の加工必要となっているが、ボーイング形状とのトレードオフにより微細化が難しくな

ている。

【0007】酸化膜以外の材料でも、同様にこのボーイング現象は発生し、特に有機絶縁膜で顕著になる。条件にもよるが、有機絶縁膜および有機酸化ケイ素膜では、アスペクト比2.5程度以上で顕在化する。これらの薄膜は配線間の絶縁膜として用いられるため、ホールアスペクト比は、微細なところで5から10程度である。

【0008】ボーイングを防ぐために、堆積性ガスを添加する場合があるが、エッチング速度が低下する等の副作用がある。

【0009】本発明が解決しようとする課題は、エッチング中にボーイングを引き起こすラジカルを抑制することにより、ボーイングを小さくして微細な絶縁膜加工を実現することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】 $C_2F_4$ ガスと $CO$ ガスによる酸化膜エッチングの場合、プラズマ中での解離により、 $CF_2$ 、 $F$ 、 $O$ および $C$ が主に生じる（これら原子分子の名称にラジカルをつける場合があるが同じものである）。これ以外にも、 $CF_3$ 、 $CF$ 、 $C_2F_3$ 、 $C_3F_7$ 等も発生するがここでは本発明の概略に影響ないことから省略して説明する。 $CF_2$ 、 $F$ 、 $O$ および $C$ のホール側面における付着係数 $S$ は、 $S_C > S_F \approx S_O > S_{CF_2}$ となっている（ $S_C$ 、 $S_F$ 、 $S_O$ 、 $S_{CF_2}$ はそれぞれ $C$ 、 $F$ 、 $O$ および $CF_2$ の付着係数である）。ここで、便宜上 $F$ や $O$ についても付着係数で表したが、この付着係数は、堆積膜のエッチング確率に対応する。上記付着係数の関係を用い、 $Ar$ 、 $C_2F_4$ 、 $O_2$ 、 $CO$ 混合ガスプロセスにおける側面付着量のホールアスペクト比依存性を求めた概念図を図1に示す。付着係数の関係により、 $C$ はマスクに対する保護膜となりうるが、曲線102に示すようにホールのアスペクト比が高くなるとホール内への到達量は激減する。一方、 $CF_2$ は、曲線103に示すようにホールのアスペクト比が高くなってもほとんど減少しない。これらに対し、 $F$ および $O$ は、ホール上部で堆積性ラジカル $C$ および $CF_2$ と反応するため、曲線101に示すようにアスペクト比の高いホールの場合底面付近への到達量が少なくなる。

【0011】アスペクト比の高いホールを加工するためには、過剰な $CF_2$ によるエッチング停止を抑制するため、 $O$ および $F$ ラジカルを大量に供給する必要がある。このため、ホールの浅い部分では $O$ および $F$ ラジカルが過剰になり、 $C$ および $CF_2$ による側壁堆積膜がほとんど形成されない。このため、ホール上部で散乱されたイオンがホール側面に入射すると、 $SiO_2$ 膜がエッチング（もしくはスパッタ）されボーイングを引き起こすのである。 $C$ および $CF_2$ で形成された堆積膜が $2F$ および $O$ でエッチングされると想定する場合、図2の曲線201に示すような加工形状の寸法シフトが生じる。ここで、負の寸法シフトがボーイングである。ボーイングが

アスペクト比3.5程度で生じる。

【0012】同一条件でホールをエッチング（以後、無制御エッチングと呼ぶ）する場合、アスペクト比の最も高いホールにFおよびOラジカルの量を合わせる必要がある。しかしながら、ホールアスペクト比は、エッチングの進行に伴い増加するため、エッチング初期では、レジスト膜厚を加えても、直径0.2μm以下のアスペクト比3程度である。この初期アスペクト比は、デバイスの微細化が進むとなるとレジスト膜厚が薄くなるため、半導体デバイスの世代によってあまり変わらない。このように、初期のアスペクト比が小さいことから、無制御エッチングでは、エッチング初期には、FおよびOが過剰になっている。

【0013】以上のような理由から、O<sub>2</sub>流量およびCO流量をエッチング時間の進行とともに増加させれば、ボーイングを低減できる。O<sub>2</sub>を流量0ml/minから8ml/minに、CO流量を50ml/minから120ml/minに、時間に比例して増加させた場合の加工形状の寸法シフトを図2曲線202に示す。このように、過剰なOを低減することによりボーイングが著しく低減する。

【0014】しかしながら、単に流量を時間変化させたのでは、装置の状態に依存したエッチング停止の発生、流量の応答が遅いため、制御方法が配管の長さ、流量コントローラの機種等に依存する。これらに対応する手段として、酸化膜エッチングの進行をモニタし、このモニタデータを基に流量を制御する方法、バイアス印加等の応答時間の短いものを用い、過剰なFおよびOを除去する方法、さらにこれらを組み合わせた手法等が有効である。エッチングの進行をモニタする方法としては、プラズマの発光スペクトル、光学的な膜厚測定器、質量分析器、レーザー導入発光スペクトル等が上げられる。また、2つ以上の電子温度領域を制御できる場合、電子温度領域の幅の制御によりFの解離をコントロールする手段がある。

【0015】有機ケイ素膜および有機絶縁膜においては、過剰なOもしくはFもしくはClによりボーイングが発生するほか、過剰なNラジカルでも同様にボーイングが発生する。したがって、O、F、ClおよびNのいずれかを過剰なラジカルを抑制することによりボーイングは低減される。

【0016】本発明は、酸化膜エッチングにおいてエッチング時間の進行とともに、OおよびFラジカル入射量を調整し、ボーイングを抑制し垂直かつアスペクト比の高い加工形状が得られるエッチング方法を提供するものである。有機物を含む絶縁膜のエッチングにおいては、この他、Nラジカルの入射量を調整することにより、ボーイングを抑制し垂直かつアスペクト比の高い加工形状が得られるエッチング方法を提供するものである。

【0017】

【発明の実施の形態】（実施例1）図3の装置を用いた実施形態について説明する。この装置では、プラズマ処理室1の内部にアンテナ23、アンテナ誘電体28、および処理台5が設置されている。プラズマ処理室1にエッチングガスをアンテナ23に設けられたガス導入口24から導入し、高周波電源17において生成した300MHzから900MHzの間の高周波をアンテナ23からプラズマ処理室35に導入してガスプラズマを発生させる。効率よくプラズマ処理室に効率良く高周波が伝搬するように、アンテナ23とアンテナアース29の間で高周波が所望のモード（ここでは、TM<sub>01</sub>）で共鳴するようにアンテナの外径とアンテナ誘電体28の材質が決められている。高周波はアンテナとアンテナアースの間で共鳴し、アンテナ誘電体の周辺部よりプラズマ処理室に伝搬される。高効率放電のために磁場発生用のソレノイドコイル4をプラズマ処理室周辺に3つ配置し、0から320ガウスの間の磁場が処理台のほぼ真上にくるように2つのコイル電流を制御し、エレクトロンサイクロトロン共鳴（ECR）を用いて電子密度が10<sup>11</sup>個/cm<sup>3</sup>以上の高密度プラズマを発生させる。プラズマ処理室1には処理台5があり、この上に被処理物6を設置して、ガスプラズマによりエッチング処理する。エッチングガスは、ガス流量コントローラ10を通してプラズマ処理室1に導入され、排気ポンプ7によりプラズマ処理室1の外に排気される。被処理物を設置する処理台5には高周波電源12を備え、400KHzから13.56MHzまでの高周波バイアスを印加できる。処理台の位置は、アンテナから距離が20mmから150mmの範囲で固定することができる。処理台5の周辺に幅30mm程度（5mm以上100mm以下で被処理物周辺のF消費効果がある）のフォーカスリング25がウエハ周辺部に設置できる構造になっており、このフォーカスリングにウエハに印加される高周波がコンデンサ26で分岐して10%から20%程度印加されるようになっている。このフォーカスリングは、下部がAlで上部が結晶Siの2層構造で、不純物ドーパされたSiやSiCを設置することもできる。アンテナ23には、高周波電源17とは異なる周波数（10kHzから27MHz）が印加できるように、フィルター回路19に高周波電源20が接続されている。アンテナ23の材質は、プラズマ処理室側は、不純物ドーパされたSiで、その反対側はAlである。

【0018】この装置に、被処理物として図4に示す構造を持つ8インチシリコンウエハを搬送する。シリコンウエハ406上には厚さ4nmのゲート酸化膜405、その上に一部に多結晶SiとWで形成された厚さ200nm幅100nmのゲート電極404が形成されている。ゲート電極とゲート酸化膜上には、厚さ（最も厚い部分で）2000nmの酸化膜403（SOGとCVD酸化膜）が形成されている。その上部には、厚さ80nmの反射防止膜402と直径120nmのホールパターンが

露光現象されたレジストマスク401が500nm形成されている。ゲート電極間にある酸化膜の幅は約160nmである。反射防止膜は、 $N_2$ と $CF_4$ 混合ガスプラズマによりすでにエッチングされている。

【0019】この装置に、 $Ar$  1250ml/min、 $C_2F_6$ を24ml/min、 $O_2$ を30ml/minをガス導入口よりプラズマ処理室に導入しガス圧力を2.5Paにする。450MHz、1.8kWの高周波によりガスプラズマを生成し、処理台に800kHz、2000Wのバイアスを印加し、酸化膜をエッチングする。ウエハ表面からウエハ対向面であるアンテナ23までの距離（ギャップ）が50mmになるように処理台の高さを調整し、ウエハ中心の真上35mmの位置およびウエハ周辺の真上40mmの位置で磁場強度が160ガウス、その位置における磁場勾配が8ガウス/cmとなるようにコイル電流を調整する。アンテナには、13.56MHzの高周波バイアスを200W印加する。

【0020】この条件で、120nm径のホールの酸化膜エッチング速度は約700nm/minで、レジストに対する選択比は8程度である。エッチングは約170秒で底面のSiに到達するが、コンタクトを確実にするため、トータルで約220秒間エッチングを行う。この時の加工形状は、図4の加工形状408となり、ホール上部で酸素過剰により、ボーイングが発生する。ボーイング位置の寸法シフトは20nm程度である。 $O_2$ 流量の加工するホールのアスペクト比に依存し、アスペクト比10では、エッチングが終了するまでに $O_2$ 流量を初期流量に対し60%増加、アスペクト比20では120%程度増加させる必要がある。

【0021】ボーイングを低減するため、 $O_2$ 流量をエッチング開始時に15ml/minとし、エッチングが10秒進む毎に0.8ml/minの $O_2$ 流量を増加させ、 $O_2$ 流量30ml/min以降は一定になるように制御する。この条件でエッチングを行うと、エッチング初期に過剰な酸素が少なくなるため、保護膜が形成されボーイングが大幅に抑制され、図4の加工形状409のごとくエッチングされる。エッチング中のトータルのラジカル入射量も少なくなるので、レジストマスクの残膜量も30%程度多くなる。

【0022】上記、 $O_2$ 流量の制御は、エッチング停止ぎりぎりの $O_2$ 流量であるため、プロセスの安定性が懸念される。プロセスの安定性をより確実なものにするため、発光スペクトルを測定しながら、 $O_2$ 流量を制御する。図1の装置に発光分光器40を光ファイバ41を通して真空処理室に設置された窓36に接続し、分光器40と制御用コンピュータ35をデータ線37で接続する。発光分光器では、酸化膜のエッチャントである $CF_2$ （280nm付近）と反応生成物 $SiF$ （440nm付近）の発光を観測する。エッチング停止が発生すると、 $CF_2$ が増え、 $SiF$ が減少する。精度を上げるた

め、 $SiF/CF_2$ 発光比の減少によりエッチング速度の低下がわかる。比エッチング面積5%程度では、エッチングの有無によりこの発光強度比は10%程度変化する。この発光強度比の変化により $O_2$ 流量を増加させることにより、装置状態が多少変化しても、エッチング停止の問題なく、安定してボーイングの少ない加工形状を得ることができる。ここでいう、装置状態とは、真空処理室内壁面の堆積物の厚さ、長時間使用後の状態、装置間の微妙な差等のことである。

【0023】図3の装置においてガス流量コントローラ10を制御用コンピュータ35に接続し、 $O_2$ 流量を発光強度比を基に制御する。エッチング条件は、上記とし、 $O_2$ 初期流量を15ml/minとし、最大 $O_2$ 流量を30ml/minとする。

【0024】上記エッチング条件に対し、 $SiF/CF_2$ 発光強度比が約1秒間に0.5%減少すると $O_2$ 流量を1ml/min増加するように制御コンピュータで流量を制御する。 $O_2$ 流量は順次増加し、最大の30ml/minになる。この制御を用いると装置の状態に依存せずボーイングの少ないエッチング加工形状を得ることができる。同時にレジストマスクの残膜量も増える。

【0025】発光スペクトルは、他の波長の $CF_2$ および $SiF$ を用いても同様な制御が可能である。発光強度としては、この他、 $C_2$ の変化で制御することも可能である。さらに、有機酸化ケイ素の場合、 $CO$ や $O$ の発光強度の変化で制御してもよい。

【0026】ラジカルの入射量を低減する方法として、装置内にラジカルを消費させる機構を設ける手段がある。図3の装置で、アンテナ23の材質を不純物ドーパしたSiCを用いると、アンテナバイアス印加によりCとOが反応しOが消費される。したがって、アンテナバイアスを調整し、O入射量がコントロールできる。特に、この場合、ウエハとアンテナの距離が短い方がアンテナでの消費効果が大きく、ウエハとアンテナ表面の距離を130mm以上にすると、アンテナの反応生成物が再解離しOが発生するため好ましくない。

【0027】上述と同じガスを用い、 $Ar$  1250ml/min、 $C_2F_6$ を24ml/minで $O_2$ 流量を25ml/minとする。アンテナバイアスパワー以外の条件は上記と同じとする。エッチング開始時にアンテナバイアスパワーを800Wとする。アンテナSiCの削れ量はアンテナバイアスパワーに比例するので、Oの消費量もほぼこれに比例する。アンテナバイアスを800Wから10秒毎に約40Wずつ100Wになるまで低減する。このアンテナバイアスの調整により過剰なラジカル量は抑制され、ボーイングがほとんど生じない。同時にレジストマスクの残膜量も増える。

【0028】アンテナバイアスは、電源と制御コンピュータを接続することにより、 $CF_2/SiF$ 発光強度比の変化で制御する場合、同様な結果が得られると同時に

に、安定した加工形状が得られる。

【0029】抜け性を確保する(エッチング停止を防ぐ)ガスとして $O_2$ の代わりに、 $CF_4$ 、 $C_2F_6$ 、 $SiF_4$ 、 $SF_6$ 、 $CF_3OF$ 、 $CF_3(OF)_2$ 、 $CF_3I$ 等のF含有ガスを用いても同様な結果が得られる。Fラジカルで抜け性を確保する場合、アンテナとして、 $SiC$ の代わりに $Si$ を用いても同様な結果が得られる。この他、 $CO$ ガスでも同様な効果が得られる。 $N_2$ ガス添加により抜け性を確保する場合、 $C$ および $SiC$ のアンテナを用いてもよい。

【0030】アンテナで過剰FおよびOを除去する場合、アンテナ材としてC、導電性有機物等でも同様な効果が得られる。バイアスが印加される程度の厚さであればアンテナ材として絶縁体を用いてもよく、厚さ2から6mm程度のポリイミド板、セラゾール板等の有機物、および不純物の少ない $SiC$ 板でも同様な効果が得られる。

【0031】エッチングガスとして $C_2F_6$ に限らず、 $CHF_3$ 、 $C_2F_4$ 、 $C_2F_5$ 、 $C_3F_8$ 、 $C_4F_8$ 、 $C_3F_6$ 、 $C_4F_{10}$ 、 $C_2F_4H_2$ 、 $C_2F_4H$ 、 $C_3F_6H_2$ 、 $C_3F_6H$ を用いても同様な効果が得られる。希釈ガスとしては、 $Ar$ に限らず、 $He$ 、 $Ne$ 、 $Kr$ もしくは $Xe$ ガスを用いてもよい。

【0032】Fの発生量を制御する方法として、プラズマのECR領域以外の電子温度が低い部分Fが選択的に発生することから、ECR領域の磁場勾配を制御しFラジカルの量を制御することによっても同様な効果が得られる。ECR領域の広がり、磁場勾配に反比例するので、エッチング初期は磁場勾配を小さくし、エッチングの経過とともに磁場勾配を大きくすると小さくなるので、プラズマを生成するための高周波パワーを同時に大きくする必要がある。具体的には、高周波(UHF)の周波数が450MHzの場合、ウエハ中心上部の磁場強度が160Gになる位置における磁場勾配を4G/cmから20G/cmに時間経過とともに増加させ、同時にUHFパワーを1.6kWから2.0kWに高くすればよい。磁場勾配を発光スペクトルで上記のごとくコントロールしてもよい。

【0033】ウエハとウエハ対抗面(アンテナ)の距離を調節しても上記と同様な結果が得られる。

【0034】被エッチング膜が有機酸化ケイ素膜の場合も同様な効果が得られる。

【0035】(実施例2)図5の装置を用いた別の実施形態について説明する。この装置では、図3の装置で下部電極の高周波電源12からパワー分配機43でパワーを分割し位相を調整してアンテナにバイアスが印加できる構造になっている。

【0036】この装置に、被処理物として図6に示す構造を持つ8インチシリコンウエハを搬送する。図には記

載していないが、シリコンウエハ上にはトランジスタ構造がありその上は酸化膜層607で覆われている。酸化膜607の上には、Cu配線608が形成されその周辺は、酸化膜605および有機絶縁膜606で覆われている。Cu配線の上には厚さ500nmの有機絶縁膜604、厚さ50nmの酸化膜603が形成され、有機絶縁膜の上下部は絶縁物の接着剤で接合されている。さらにその上部には、厚さ80nmの反射防止膜602と直径150nmのホールパターンが露光現像されたレジストマスク601が600nm形成されている。反射防止膜は、 $N_2$ と $O_2$ の混合ガスプラズマによりすでにエッチングされている。

【0037】この装置に、 $Ar$  500ml/min、 $C_2F_6$ を20ml/min、 $O_2$ を10ml/minをガス導入口よりプラズマ処理室に導入しガス圧力を2.0Paとして酸化膜をエッチングする。次に有機絶縁膜をエッチングするため、 $NH_3$ ガスを100ml/min導入し、ガス圧力を3Pa、電源周波数を450MHzとし、パワー1.0kWをアンテナより導入しガスプラズマを生成する。アンテナには、800kHzの高周波バイアスが100W印加されるように分配機43のコンデンサおよびコイルを調整する。ウエハ表面からウエハ対向面であるアンテナ23までの距離(ギャップ)が70mmになるように処理台の高さを調整し、ウエハ中心の真上35mmの位置およびウエハ周辺の真上50mmの位置における磁場強度が160ガウス、ウエハ中心上の磁場強度160ガウスの位置における磁場勾配が12ガウス/cmとなるようにコイル電流を調整する。処理台に400kHz、300Wのバイアスを印加し、有機膜をエッチングする。

【0038】この条件で、150nm径のホールの酸化膜エッチング速度は約500nm/minで、レジストに対する選択比は1.3程度である。エッチングは約60秒で底面のCuに到達するが、コンタクトを確実にするため、約80秒エッチングする。この時の加工形状は、ホール上部でのN過剰により、ボーイングが発生する。

【0039】HはNと側面で反応してNを除去する効果があるので、エッチング初期に $H_2$ を24ml/min添加し、10秒毎に4ml/minずつ減づる。導入するNの量に対し、エッチング初期に5%から50%の $H_2$ を添加すると効果がある。エッチング初期の過剰Nが少なくなり、図6の加工形状610に示すようにボーイングが少ない加工形状が得られる。 $H_2$ の代わりに $C_2H_4$ 、 $C_2H_6$ 、 $C_2H_2$ 、 $CH_3OH$ 等を用いても同様であり、かつこれらの添加ガスが可燃性であることから $Ar$ 等の希ガスで希釈しても同様な結果が得られる。エッチングガスとして $NH_3$ を用いたが、 $N_2$ と $H_2$ の混合ガスでも同様に、 $H_2$ 流量の調整でほぼ同じ効果が得られる。エッチングガスとして $N_2$ と $O_2$ を用いる場合は、O

00 Wのバイアスを印加し、酸化膜をエッチングする。  
この条件では、エッチング速度は約600 nm/min  
であるが、ボーイングが発生する。

【0046】過剰なFを低減するため、エッチング中に、Si(OCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F<sub>2</sub>流量を14 ml/minから4 ml/minに減らしエッチングを行う。流量の変化量は20秒毎に1 ml/minとした。過剰なFがSiおよびCH<sub>3</sub>で除去されるため、ボーイングは大幅に低減する。

【0047】ガス種としては $\text{Si}(\text{OCH}_3)_2\text{F}_2$ の他に、 $\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{F}_2$ 、 $\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{Si}(\text{OCH}_3)_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{Si}(\text{CH}_3)_3\text{H}$ 、 $\text{Si}(\text{CH}_3)_3\text{H}_2$ 、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 、 $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{H}_2$ 等でもよい。

【0048】エッチングガスとして $C_3F_8$ に限らず、 $CHF_3$ 、 $C_2F_4$ 、 $C_3F_6$ 、 $C_4F_6$ 、 $C_4F_8$ 、 $C_5F_6$ 、 $C_5F_8$ 、 $C_6F_6$ 、 $C_2F_4H_2$ 、 $C_2F_4H$ 、 $C_3F_8H_2$ 、 $C_3F_8H$ を用い、ホール抜け性を確保するため $O_2$ 添加する場合でも同様な効果が得られる。希釈ガスとしては、 $Ar$ に限らず、 $He$ 、 $Ne$ 、 $Kr$ もしくは $Xe$ ガスを用いてもよい。

20 【0049】発光スペクトルの測定装置とマスフローコントローラを図3に示したのと同様に接続すれば、発光スペクトルで流量を制御することも可能である。

【0050】エッチングガスとしては、実施例1で用いるガスを用いても、実施例1と同様な制御でボーイングを低減することができる。

【００５１】実施例で用いた装置の他、図７で示す空洞共振器を持つエッチング装置や、図８に示す大気アンテナのエッチング装置、平行平板型の装置でも同様な効果が得られる。図７および図８の装置には、プラズマが接触する部分にアンテナ等の電極が無いので、プラズマ処理室内にＳｉ板、ＳｉＣ板、Ｃ板等を設置し、これに高周波バイアスを印加することで、アンテナと同様な効果を得ることができる。

【005·2】

【発明の効果】本発明により、エッチング中のFおよびOラジカル入射量が適性に制御されるため、エッチング速度および選択性を維持して、ボーイングを抑制されるため、アスペクト比の高いコンタクトホールおよび有機物を含む薄膜のエッチングにおいて、高い垂直加工形状が得られる。

【0053】本発明により、半導体デバイスの微細ホール加工および絶縁膜の溝加工で垂直性が向上するため、デバイスの不良が少なくなる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明で用いるホール側面に付着もしくは反応するラジカル量のホールアスペクト比に対する依存性を示す概念図である。

【図2】本発明に用いる寸法シフトのホールアスペクト比依存性を示す図である。

【図3】本発明で用いるドライエッチング装置の断面お

【0044】この装置に、被処理物として8インチシリコンウェハを搬送する。このシリコンウェハ上には厚さ2 $\mu$ mの酸化膜が形成されその上部にはマスクパターンを転写したレジストマスクが形成されている。レジストマスクには、150nm径のホールが形成されている。

【0045】この装置に、Ar 50ml/min、C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>を20ml/min、Si (OCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F<sub>2</sub>を4ml/minガス導入口より処理室に導入しガス圧力を0.7Paとし、ウエハとセラミック材料内壁面までの距離を70mmとなるように処理台を調整する。1. 8MHz の1000Wの高周波を第一のリングアンテナ63に印加し、2. 2MHzの700Wの高周波を第二のリングアンテナ64に印加し、ガスプラズマを発生させ、処理台に2MHz、12

40

50



よび制御コンピュータとの接続を示す図である。

【図4】本発明で用いる被処理物上の酸化膜ホールの加工前と加工後の形状の断面図である。

【図5】本発明で用いる別のドライエッチング装置の断面および制御コンピュータとの接続を示す図である。

【図6】本発明で用いる被処理物上の有機膜ホールの加工前と加工後の形状の断面図である。

【図7】本発明で用いる別のドライエッチング装置の断面図である。

【図8】本発明で用いる別のドライエッチング装置の断面図である。

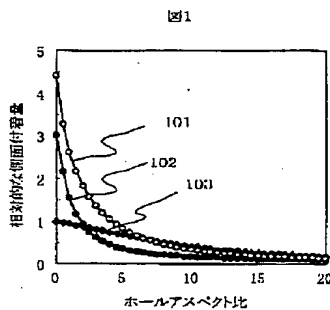
【図9】本発明で用いる別のドライエッチング装置の断面図である。

#### 【符号の説明】

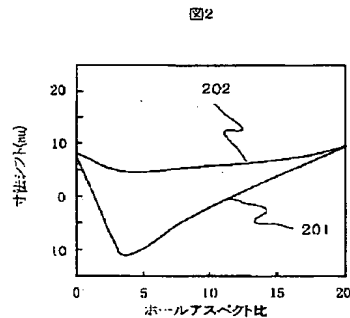
1. プラズマ処理室、2. マイクロ波発生器、3. 導波管、4. ソレノイドコイル、5. 処理台、6. 被処理物、7. 排気ポンプ、8. 排気バルブ、9. コンダクタンスバルブ、10. ガス流量コントローラ、11. ガス導入口が形成された誘電体、12. 処理台用の高周波電源、13. 石英の真空容器、14. アルミナのサセプタ、16. 搬送用ゲートバルブ、17. 高周波電源、18. スタブチューナー、19. 高周波フィルタ、20. 第3の高周波電源、21. ヨーク、22. アルマイト処理したAl内筒、23. 平板アンテナ、24. ガス導入口、25. Siフォーカスリング、26. コンデンサ、27. 被処理物に高周波を印加するために設けられたAl電極、28. アンテナ誘電体、29. アンテナア\*

\*ース、30. 金属の真空容器、31. 高周波導入窓、32. 空洞共振器、33. 石英板、34. 大気アンテナ、35. 制御用コンピュータ、36. 光ファイバー用の窓、37. 分光器の信号線、38. アンテナバイアス制御用の信号線、39. ガス流量制御用の信号線、40. 分光器、41. 光ファイバケーブル、42. 高周波分配器の制御用信号線、43. 高周波分配器、101. FとOのホール側面における反応量の和を示す曲線、102. Cのホール側面における付着量を示す曲線、103. CF<sub>4</sub>のホール側面における付着量を示す曲線、201. 従来プロセスによるホールの寸法シフト量を示す曲線、202. 本発明によるホールの寸法シフト量を示す曲線、401. 露光処理したレジストマスク、402. 反射防止膜、403. 酸化膜、404. ゲート酸化膜、405. ゲート電極、406. 不純物ドーピングしたシリコンウエハ、407. 加工前のウエハの断面図、408. 従来プロセスによる加工後のウエハ断面図、409. 本発明による加工後のウエハ断面図、601. 露光処理したレジストマスク、602. 反射防止膜、603. 第一の酸化膜、604. 第一の有機薄膜、605. 第二の酸化膜、606. 第二の有機薄膜、607. 第三の酸化膜、608. Cu膜、609. 加工前の被処理物の断面図、610. 本発明による加工後の被処理物の断面図、61. 第一の高周波電源、62. 第二の高周波電源、63. 第一のリングアンテナ、64. 第二のリングアンテナ、65. セラミック材料、66. ガス導入口。

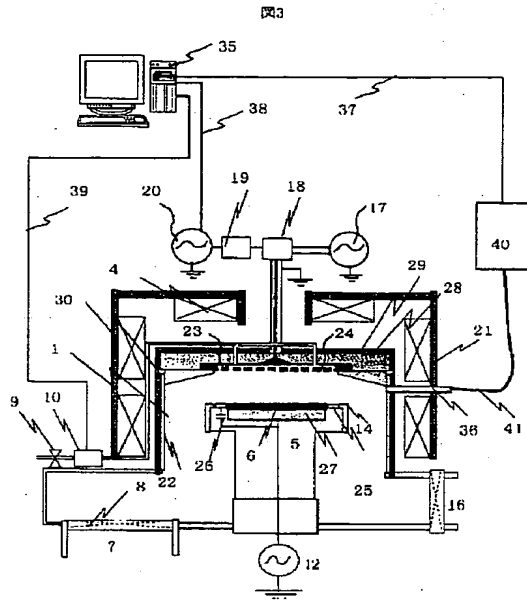
【図1】



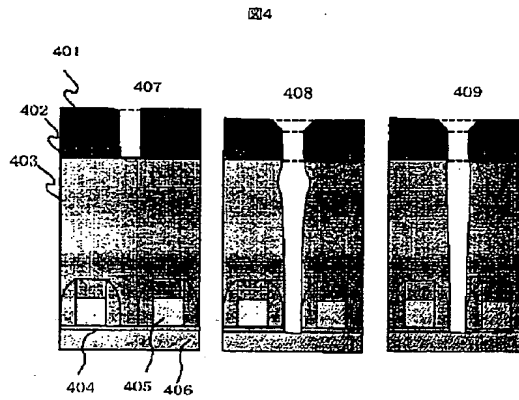
【図2】



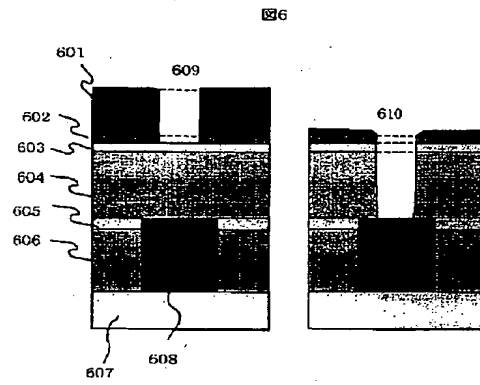
【図3】



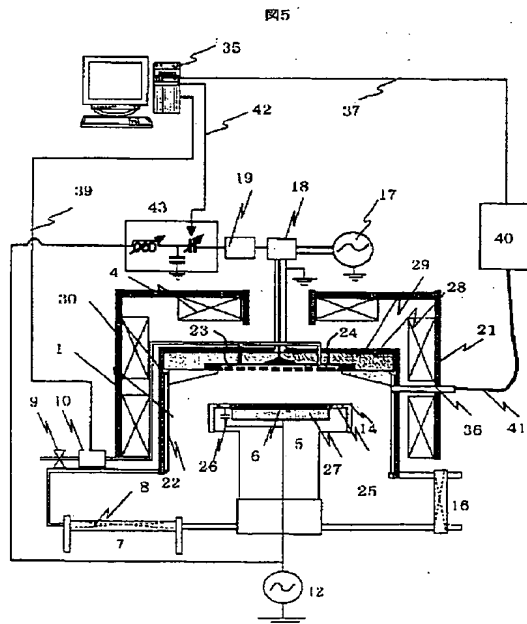
【图4】



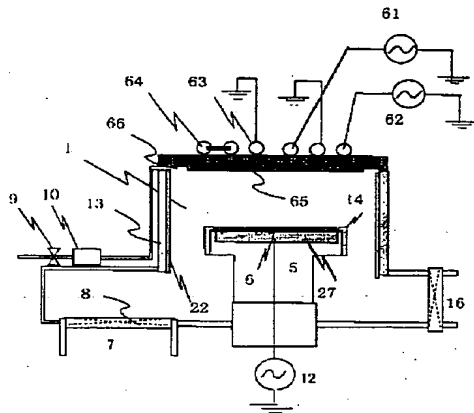
【图6】



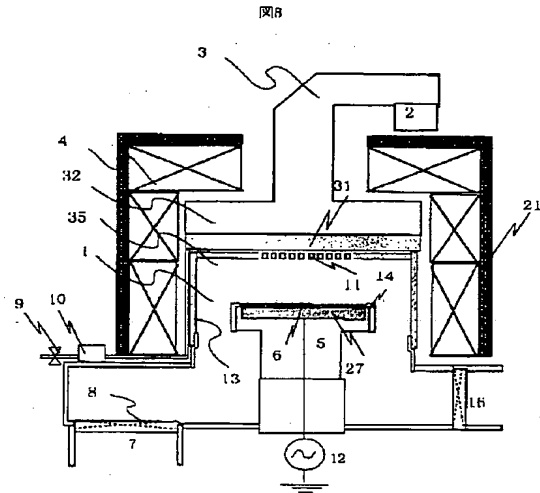
【図5】



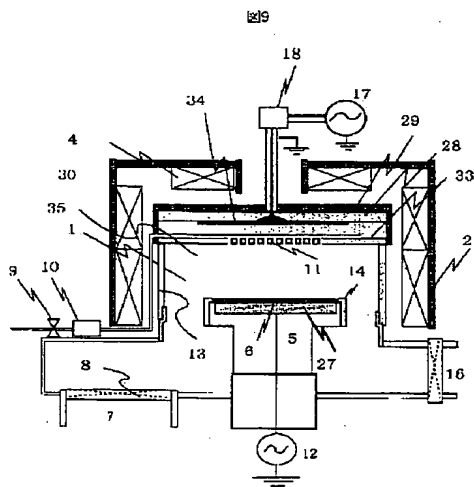
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
H05H 1/46

識別記号

F I  
H01L 21/90

テーマコード(参考)

A

(72)発明者 根岸 伸幸  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 桃井 義典  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(11)

特開2001-110784

(72)発明者 田地 新一  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

F ターム(参考) 4K057 DA11 DA12 DA13 DB20 DD01  
DD08 DE06 DE14 DG07 DG12  
DG15 DN01  
5F004 BA14 BB07 BB11 BB13 BB29  
BC03 CA02 CA03 CA06 CA08  
CB02 CB04 CB10 DA00 DA01  
DA02 DA03 DA18 DA24 DA26  
DB03 EA22  
5F033 KK01 KK11 QQ09 QQ12 QQ15  
QQ37 RR04 RR09 RR21 SS11  
TT04 WW01 WW06 WW07 WW10  
XX00